

24.09.2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 11 NOV 2004

WIPO PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 3 月 9 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 6 5 1 6 3
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 4 - 0 6 5 1 6 3]

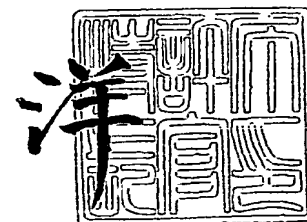
出 願 人 松 下 電 器 産 業 株 式 会 社
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17:1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 1 0 月 2 9 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 2047550001
【提出日】 平成16年 3月 9日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 21/205
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 嶋本 敏孝
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 川口 靖利
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 石橋 明彦
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 木戸口 勲
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 横川 俊哉
【特許出願人】
 【識別番号】 000005821
 【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100097445
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 岩橋 文雄
【選任した代理人】
 【識別番号】 100103355
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 坂口 智康
【選任した代理人】
 【識別番号】 100109667
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 内藤 浩樹
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 011305
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9809938

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

n 型窒化物半導体層と、
前記 n 型窒化物半導体層上に形成された活性層と、
前記活性層上に形成され Al を含む第 1 の窒化物半導体層と、
前記第 1 の窒化物半導体層上に形成された第 2 の窒化物半導体層と、
前記第 2 の窒化物半導体層上に形成された第 3 の窒化物半導体層と、
を有し、
前記第 1 の窒化物半導体層の全体に、または前記第 1 の窒化物半導体層の途中から前記第 2 の窒化物半導体との界面にかけて、p 型不純物がドーピングされており、
前記第 1 の窒化物半導体層のバンドギャップは、前記第 2 の窒化物半導体層よりも小さく、
前記第 3 の窒化物半導体層よりも大きいことを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項 2】

n 型窒化物半導体層と、
前記 n 型窒化物半導体層上に形成された活性層と、
前記活性層上に形成され Al を含む第 1 の窒化物半導体層と、
前記第 1 の窒化物半導体層上に形成され Al を含む第 2 の窒化物半導体層と、
前記第 2 の窒化物半導体層上に形成され Al を含む第 3 の窒化物半導体層と、
を有し、
前記第 1 の窒化物半導体層の全体に、または前記第 1 の窒化物半導体層の途中から前記第 2 の窒化物半導体との界面にかけて p 型不純物がドーピングされており、
前記第 1 の窒化物半導体層の Al 組成比は、前記第 2 の窒化物半導体層よりも小さく、
前記第 3 の窒化物半導体層よりも大きいことを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項 3】

前記第 3 の窒化物半導体層がクラッド層である請求項 1 または 2 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 4】

前記第 1 の窒化物半導体層の厚みが 1 ～ 50 nm であり、前記第 2 の窒化物半導体層の厚みが 5 ～ 20 nm である請求項 1 または 2 記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 5】

前記第 1 の窒化物半導体層および前記第 2 の窒化物半導体層が In を含む請求項 1 または 2 記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項 6】

前記第 2 の窒化物半導体層の In 組成比が、前記第 1 の半導体層の In 組成比よりも大きい請求項 5 記載の窒化物半導体発光素子。

【書類名】明細書

【発明の名称】窒化物半導体発光素子

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ディスクに代表される光情報処理分野、複写機や印刷機、照明機器、光通信用途などに用いられている窒化物半導体を用いた窒化物半導体発光素子に関するものである。

【背景技術】

【0002】

背景技術として、従来の窒化物半導体発光素子における p 型ドーパント、例えばマグネシウム (Mg) のドーピングを行う部分の構造を主に説明する。

【0003】

図 2 は第 1 の従来例 (非特許文献 1) を示すものであり、次世代大容量光ディスク用の高出力青色レーザダイオードに関するものである。活性層 201 上に高 Al 組成比の p-AlGaInN から成る層 202 が形成されている。この層 202 は、周囲の層と比較して最もバンドギャップが大きく、結果としてキャリア (電子) のオーバーフローを抑制している。以降では、このような層をオーバーフロー抑制層と呼ぶ。非特許文献 1 では、オーバーフロー抑制層 202 上に、un-AlGaInN ガイド層 203 及び p-AlGaInN 超格子クラッド層 204 が設けられている。このオーバーフロー抑制層 202 でブロック出来なかったキャリア及び光の閉じ込めを、超格子クラッド層 204 により行っている。そして、オーバーフロー抑制層 202 と超格子クラッド層 204 の間に un-AlGaInN ガイド層 203 を挿入し、Al 組成比の高いクラッド層を出来る限り活性層から離れた構成をとっている。このように活性層から距離を持たせることにより、Al 組成比の高い層で発生する歪みが活性層に与える影響を出来る限り緩和している。非特許文献 1 によれば、p-Al_xGa_{1-x}N クラッド層 204 の平均 Al 組成比は、 $x = 0.075$ 、Al_xGa_{1-x}N オーバーフロー抑制層 202 の Al 組成比は $x = 0.20$ であり、Al 組成比 (バンドギャップ) の大小関係は、オーバーフロー抑制層 202 > クラッド層 204 > ガイド層 203 となっている。このオーバーフロー抑制層 202 は、バンドギャップを大きくするため、高濃度の Mg ドーピングを行い高い不純物濃度を得る必要がある。

【0004】

図 3 は、第 2 の従来例 (特許文献 1) を示すものであり、特許文献 1 に記載されている活性層近傍構造を抜き出したものである。特許文献 1 では、p 型不純物濃度を向上させる手法として、窒化物半導体ヘテロ界面近傍領域で p 型不純物濃度が局所的に増大することを利用する技術を開示している。このような技術を AlGaInN オーバーフロー抑制層に適用することにより、ドーパントの供給量を増大させることなく p 型不純物濃度を高めることにより、低抵抗化を図ると共に急峻な p 型不純物プロファイルが得られる。

【0005】

図 4 は第 3 の従来例 (非特許文献 2) を示すものである。図 4 のように InGaInN 活性層 401 と p-AlGaInN オーバーフロー抑制層 403 との間に un-AlGaInN 中間層 402 を挿入し、p-AlGaInN オーバーフロー抑制層 403 の上に p-AlGaInN 超格子クラッド層 404 を設けている。そして、Mg ドーピングは、高い p 型不純物濃度が要求される p-AlGaInN オーバーフロー抑制層 403 の形成時において開始されている。また、un-AlGaInN 中間層 402 を挿入して Mg がドーピングされる位置を出来る限り活性層から離すことで、p 型ドーパントとして用いる Mg が引き起こす光吸収損失を低減している。また、非特許文献 2 によれば、Al 組成比 (バンドギャップ) の大小関係はオーバーフロー抑制層 403 > クラッド層 404 > 中間層 402 となっている。

【0006】

図 5 は、第 4 の従来例 (非特許文献 3) を示すものであり、図 2 の構造 (非特許文献 1) と比較して、活性層 501 と p-AlGaInN オーバーフロー抑制層 503 との間に InGaInN ガイド層 (中間層) 502 を挿入している点で異なる。この構成により、Al 組成

比の高い p-AlGaIn オーバーフロー抑制層 503 および p-AlGaIn 超格子クラッド層 504 で発生する歪みを緩和している。

【0007】

以上説明したように、従来は Al 組成比の高い層を出来る限り活性層から離れた構成であり、活性層から離れるほど Al 組成比を高く設定している。そして、光の閉じ込め効率や電子自体の閉じ込め効率を考える際にも、こうした構成を前提に検討されていた。

【特許文献 1】特開 2002-198314 号公報

【非特許文献 1】Jpn. Journal of Applied Physics, Vol.38(1999) pp.L226

【非特許文献 2】phys.stat.sol. (a)194, No.2, 407(2002)

【非特許文献 3】IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.39, No.1, 135 (2003)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

一般に、前記オーバーフロー抑制層から漏れ出すキャリア及び光の閉じ込めは AlGaIn クラッド層により行なう必要がある。AlGaIn クラッド層において Al 組成比が高くなる程、キャリア及び光の閉じ込め効率は向上するが、その代償として直列抵抗 R_s は高くなる。第 1 の従来例においても、クラッド層の Al 組成比は依然として高く、動作電圧上昇の原因となる。デバイスの低電圧化をさらに進める場合、この直列抵抗成分は無視できない。単純に、クラッド層の Al 組成比を低減することで低抵抗化は可能であるが、オーバーフロー抑制層から漏れ出すキャリア及び光の閉じ込め効率が低下し、しきい値電流は上昇してしまう。よって、結果的に消費電力の低減が困難となる。

【0009】

一方、オーバーフロー抑制層によるキャリアの閉じ込め効率をさらに向上させることも考えられる。そのためには、オーバーフロー抑制層の Al 組成比を大きくし、それによりバンドギャップを大きくする必要がある。この場合、しきい値電流を低減するためには、高いホール濃度が必要となる。そこで、オーバーフロー抑制層へ p 型ドーパント (Mg 等) を十分にドーピングし、ホールの注入効率を向上させることが重要になる。しかしながら、こうした高濃度の p 型不純物をドーピングする際、ドーパントのフロー開始時より遅れてドーパントが取り込まれる現象 (以後、ドーピング遅れと呼ぶ) が発生し、オーバーフロー抑制層内において、初期には不純物濃度が小さく次第に大きくなる現象により不純物濃度に傾斜が発生し、平均的なホール濃度が低下していた。そして、ホール濃度が低下するとホール注入効率が低下し、しきい値電流上昇の原因となっていた。

【0010】

これに対し発明者らは、前述した第 2 の従来例 (特許文献 1) で開示されている、半導体ヘテロ界面近傍でドーパントの濃度が局所的に増大するように成長させる技術を適用し、オーバーフロー抑制層の p 型ドーパントのドーピング濃度を向上させる検討を行った。しかし、新たな課題が発生した。その課題とは、上記第 2 の従来例の構成では依然としてドーピングの遅れが少なからず発生してしまうことである。この遅れは、特許文献 1 の図 3 における AlGaIn と GaIn との界面部分を見ても明らかである。この結果、作製したデバイスのしきい値電流にもばらつきが生じ、歩留まりが低下してしまうという課題を有していた。また、界面部分で p 型ドーパントが異常なパイルアップとなり、結晶欠陥増大等による結晶品質悪化の要因ともなっていた。

【0011】

なお、第 3 の従来例 (非特許文献 2) においても、p 型ドーパントを高濃度にドーピングしているものの、Mg ドーピングは p-AlGaIn オーバーフロー抑制層の形成時から開始し、ドーピングに遅れが発生するという問題を有していた。

【0012】

本発明は、上記従来例の課題を解決するものであり、活性層の周辺の構造を工夫することにより、ドーパントの供給量を増大させることなくオーバーフロー抑制層における p 型不純物濃度を高めるものである。その結果、AlGaIn クラッド層の低 Al 組成化による低

抵抗化を実現し、デバイスの消費電力低減を図ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記課題を解決するために、本発明の窒化物半導体発光素子は、 n 型窒化物半導体層と、 n 型窒化物半導体層上に形成された活性層と、活性層上に形成されA1を含む第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層上に形成された第2の窒化物半導体層と、第2の窒化物半導体層上に形成された第3の窒化物半導体層とを有し、第1の窒化物半導体層の全体に、または第1の窒化物半導体層の途中から第2の窒化物半導体との界面にかけて、 p 型不純物がドーピングされており、第1の窒化物半導体層のバンドギャップは、第2の窒化物半導体層よりも小さく、第3の窒化物半導体層よりも大きいことを特徴とする。

【0014】

上記構成により、第2の半導体層へのドーピング遅れを解消することができる。さらに、第2の半導体層内において、 p 型不純物濃度が傾斜のないフラットなプロファイルとなるため、平均的に見て高いホール濃度を実現できる。これにより、第2の半導体層内へのホール注入効率を改善し、しきい値電流密度を低減することができる。また、第1半導体層と第2の半導体層との界面近傍において、 p 型ドーパントの異常なパイルアップを抑制しつつ、急峻な p 型不純物のプロファイルを形成することができる。

【0015】

以上の効果により、第2の半導体層におけるキャリア閉じ込め効率を大幅に向上することができるため、第3の半導体層においてキャリアの閉じ込めを重視する必要がなくなり、第3の半導体層における低A1組成化（低バンドギャップ化）を実現することができる。結果として、キャリアの閉じ込め効率を低下させることなくデバイスの直列抵抗 R_s の低抵抗化が可能となり、低消費電力なデバイスが実現できる。

【発明の効果】

【0016】

本発明に係る窒化物半導体発光素子によれば、第2の半導体層におけるキャリア閉じ込め効率を大幅に向上することができるため、第3の半導体層においてキャリアの閉じ込めを重視する必要がなくなり、第3の半導体層における低A1組成化（低バンドギャップ化）を実現することができる。結果として、キャリアの閉じ込め効率を低下させることなくデバイスの直列抵抗 R_s の低抵抗化が可能となり、低消費電力なデバイスが実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、本発明の一実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0018】

（実施の形態1）

図6は本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の断面構成を示している。図6を用いて、半導体レーザ素子の構成とその製造プロセスとを同時に説明する。結晶成長には、有機金属気相成長法（MOVPE法）を用いる。その成長圧力は、減圧下、大気圧下、あるいは大気圧（1atm）以上の加圧下であっても良い。また、半導体層ごとに最適な圧力に切りかえても良い。原料を基板上に供給するためのキャリアガスは、少なくとも窒素又は水素等の不活性ガスとする。

【0019】

まず、 n -Ga_{0.1}N基板601の表面を有機溶剤及び酸によって清浄化した後、成長炉内のサセプター上に基板601を設置する。N₂ガスにて成長炉内を十分に置換した後、1℃/秒の昇温レートで1000℃まで昇温し、キャリアガスをH₂に切り替えると共にアンモニア（NH₃）の供給を開始して基板表面のクリーニングを行なう。このクリーニングの時間は1分以上行なうことが望ましい。その後、トリメチルガリウム（TMG）とモノシラン（SiH₄）の供給を開始し、2μm厚の n -Ga_{0.1}N層602の成長を行い、引き続きトリメチルアルミニウム（TMA）を加え、1.5μm厚の n -Al_{0.05}Ga_{0.95}Nクラッド層603の成長を行う。次に、TMAの供給を停止して n -Ga_{0.1}N

光ガイド層604を0.1 μ m成長した後、キャリアガスをN₂に変えNH₃の供給を停止し、成長温度を780℃まで降温する。

【0020】

次に、NH₃、TMG及びトリメチルインジウム(TMI)を供給することにより、光ガイド層604上に厚さが約3nmのIn_{0.1}Ga_{0.9}N井戸層と、井戸層の上に厚さが約7nmのIn_{0.02}Ga_{0.98}N障壁層とを1周期とする3周期分の半導体層を成長して多重量子井戸(MQW)活性層605を形成する。

【0021】

引き続き30nm厚のノンドープIn_{0.02}Ga_{0.98}N中間層606を成長し、30nm厚のアンドープGa_{0.98}N中間層607を成長した後、TMGの供給を停止する。N₂とNH₃を供給した状態ですばやく1000℃まで昇温し、キャリアガスをN₂とH₂の混合ガスに切り替える。TMG及びTMAの供給を再開し、45nm厚のp-Al_{0.1}Ga_{0.9}N中間層(ドーピングエンハンス層)608を成長する。この中間層608の成長途中において、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)によるMgドーピングを開始する。その後、10nm厚のp-Al_{0.16}Ga_{0.84}N電子オーバーフロー抑制層609を成長し、すばやくキャリアガスをH₂に切り替え、p-Al_{0.03}Ga_{0.97}Nクラッド層610を成長し、50nm厚のp-GaNコンタクト層611を順次積層する。本実施形態においては、p型ドーパントとしてマグネシウム(Mg)を用いたが、代わりに炭素(C)、亜鉛(Zn)、ベリリウム(Be)、カドミウム(Cd)等を用いても良い。以上のようにして、半導体レーザ素子を構成するエピタキシャル層を得ることができる。

【0022】

なお、本実施形態においては窒化物半導体の成長方法はMOVPE法に限定するものではなく、ハイドライド気相成長法(HVPE法)や分子線エピタキシー法(MBE法)など、化合物半導体結晶を成長させるためにこれまで提案されている全ての方法に適用できる。

【0023】

また、本実施の形態ではGaの原料としてTMG、Alの原料としてTMA、Inの原料としてTMI、Mgの原料としてCp₂Mg、Nの原料としてNH₃を用いたが、上記条件の原理を生かす結晶成長であればこれらに限るものではなく、Gaの原料としてトリエチルガリウム(TEG)や塩化ガリウム(GaClやGaCl₃)、Alの原料としてトリエチルアルミニウム(TEA)やジメチルアルミハイドライド(DMAH)、ジメチルアルミシクロライド(DMACl)、Inの原料としてトリエチルインジウム(TEI)、Mgの原料としてビスエチルシクロペンタジエニルマグネシウム(EtCp₂Mg)やビスメチルシクロペンタジエニルマグネシウム(MeCp₂Mg)、Nの原料としてヒドラジン(N₂H₄)やモノメチルヒドラジン(MMH)ジメチルヒドラジン(DMH)を用いても良い。

【0024】

また、本実施の形態では各クラッド層及びコンタクト層等にバルク結晶を用いたが、超格子構造を適用しても良い。

【0025】

次に、共振器形成領域となる部分をp-Al_{0.1}Ga_{0.9}N中間層(ドーピングエンハンス層)608に至るまでエッチングにより掘り込むことでストライプ状に加工し、共振器形成領域の上部にリッジ部を形成する。リッジ部におけるストライプ幅は2~3 μ m程度である。また、エピタキシャル層におけるストライプ状の共振器形成領域をマスクして、該エピタキシャル層に対してn型コンタクト層602の一部が露出するまでエッチングを行なう。

【0026】

続いて、p型コンタクト層の上面の電極とのコンタクト部分及びn型コンタクト層の上面の電極とのコンタクト部をそれぞれマスクし、CVD法等により、リッジ部の両脇に酸

化シリコン (SiO_2) からなる保護絶縁膜613を堆積し、電流注入領域を形成する。絶縁膜の開口部の p-GaN コンタクト層611表面には p 電極612を、 n-GaN コンタクト層602表面には n 電極614を形成する。 p-GaN コンタクト層611は、 p 電極612とのコンタクト抵抗低減のため、 Mg 濃度が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ から $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 含まれている。このようにして、図6に示される窒化物半導体レーザ素子を作製できる。

【0027】

なお、本実施形態においては、 n 側の電極を上面 (p 側電極と同じ側) に形成したが、 n-GaN 基板の裏面に n 電極を形成し、上下から導通を取る構造としても良い。

【0028】

このようにして得られた半導体レーザ素子に対して、 p 側電極612と n 側電極614との間に電圧を印加すると、MQW活性層605に向かって p 側電極612から正孔が注入されると共に n 側電極614から電子が注入される。これにより、MQW活性層605において、正孔と電子との再結合により光学利得を生じて約410nmの波長でレーザ発振を起こす。

【0029】

以下、 $\text{p-Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ 中間層 (ドーピングエンハンス層) 608の Al 組成比 (バンドギャップ) が、 $\text{p-Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ オーバーフロー抑制層609よりも小さく、 $\text{p-Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ クラッド層610よりも大きい構造をとることの有効性について説明する。

【0030】

当初、発明者らは、オーバーフロー抑制層直前に p-GaN 中間層を挿入し、 p-GaN 中間層内において p 型ドーパントを前もって流し始めることで、ドーピングの遅れを解消し、パイルアップを抑制することを試みた。しかしながら、 Al を含まない p-GaN 中間層を用いた場合にはドーピング遅れの影響が顕著に現れ、オーバーフロー抑制層中においては、 Mg プロファイルが勾配を持つことが実験的に明らかとなった。そして、 Mg 濃度の値としては、 $5 \sim 7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度と依然として不十分なレベルであった。

【0031】

本実施形態において用いた構造の特徴は、 $\text{p-Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ 中間層 (ドーピングエンハンス層) 608という比較的 Al 組成比が高い層を Al-GaN オーバーフロー抑制層609の直前に挿入し、 Mg のドーピングをこの Al-GaN オーバーフロー抑制層609形成中から開始していることである。一般に、 Al-GaN は GaN と比べてバンドギャップエネルギーが大きく、アクセプター不純物の活性化エネルギーは大きい。したがって、従来では、 Al-GaN 層形成中から Mg のドーピングを開始することは、 p 型結晶が不活性化しやすく、再現性や均一性の低下につながると考えられていた。また、活性層の近傍に In-GaN との格子定数差が大きい Al-GaN を配置することは、活性層を構成する井戸層の歪の不均一を招きやすいため、発光特性に悪影響を与えと考えられていた。しかしながら、 Al が含まれる混晶半導体層には p 型不純物 (例えば Mg 等) が取り込まれやすく、ドーピング遅れが発生しにくいという大きな特徴を持つ。また、 p 型不純物の取り込まれには Al 組成比依存性があり、 Al 組成比が0%から50%の間においては Al 組成比の増加に伴い、 p 型不純物の取り込まれる量は増加する。

【0032】

図1は、本実施の形態における活性層近傍の構成を示す図である。活性層側から、膜厚および Al 組成比 (バンドギャップ) の異なる3領域以上の層から形成される。本実施形態では、 p-Al-GaN ドーピングエンハンス層102は第1の半導体層に対応し、 p-Al-GaN オーバーフロー抑制層103は第2の半導体層に対応し、 p-Al-GaN クラッド層104は第3の半導体層に対応する。第1の半導体層の Al 組成比 (バンドギャップ) は第3の半導体層よりも高く、かつ第2の半導体層の Al 組成比 (バンドギャップ) に関しても第3の半導体層より高く構成する (第2の半導体層 > 第1の半導体層 > 第3の

半導体層の関係)。第1の半導体層におけるAl組成比は、そのバンドギャップが第2の半導体層よりも小さくなる範囲内で、できるだけ高いAl組成比を用いることが望ましい。この第1の半導体層の存在により、従来の技術で発生していたp型不純物のドーピング遅れを解消することができ、第2の半導体層に対して十分な不純物濃度を確保することが可能となる。

【0033】

望ましいAl組成比は第1の半導体層が10～20%、第2の半導体層が10～30%、第3の半導体層が平均5～9%であり、最も望ましいAl組成比は第1の半導体層が8～15%、第2の半導体層が15～20%、第3の半導体層が平均6.5～7.5%である。第1の半導体層や第2の半導体層といった高Al組成比の層を厚く構成した場合、直列抵抗の増加を導くため、第3の半導体層よりも膜厚を薄くすることが必要である。よって、各層の望ましい膜厚は第1の半導体層で1～50nm、第2の半導体層で5～20nm、最も望ましい膜厚は第1の半導体層で5～20nm、第2の半導体層で5～10nmである。

【0034】

なお、第1の半導体層のAl組成比は、上記した望ましいAl組成比の範囲内であれば傾斜を持っても良い。また、この傾斜は連続的でも、階段的でも良い。

【0035】

また、各領域は、上記した望ましいAl組成比および膜厚の範囲内であれば、バルク層ではなく超格子層でもよい、また、バルク層と超格子層が混在していてもよい。

【0036】

本実施形態の構造をとることでAlGaNオーバーフロー抑制層103において $9 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高いMg濃度が実験的に確認できた。ドーピングの開始位置に関しては、ドーピングエンハンス層102の最初又は途中から行う必要がある。なお、ドーピングエンハンス層の全部又は一部で不純物のドーピングを行っていれば良く、層内で不純物濃度が均一である必要は無い。オーバーフロー抑制層のドーピング濃度に関しては、最大 $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のp型不純物が均一にドーピングされていることが望ましい。

【0037】

なお、第3の従来例(非特許文献2)においてもAlGaN層(オーバーフロー抑制層に相当)及びAl_{0.07}Ga_{0.93}N(クラッド層に相当)にてキャリアの閉じ込めを行っている。このオーバーフロー抑制層の直前に低Al組成のAlGaN層が挿入されているが、このAlGaN層はアンドープであり、ドーピングは開始されていない。よって、本件のようなドーピング遅れを解消する効果はない。

【0038】

このように、AlGaNドーピングエンハンス層102の挿入によりMgドーピング遅れの影響を抑制することが可能となり、レーザ構造の中で最もバンドギャップエネルギーが大きいAlGaNオーバーフロー抑制層103中のMg濃度をクラッド層のMg濃度とほぼ等しくすることができる。このように、ホール注入効率を改善することにより、しきい値電流を低減すると共に、pn界面位置のズレによる動作電圧の上昇等を抑制することができる。特に、ドーピングエンハンス層102を超格子層とすることで平均Al組成が同一でもAl濃度の高い部分を形成でき、Mg取り込まれの急峻性を向上させることができる。オーバーフロー抑制層103を超格子層とすることでMgアクセプターの活性化エネルギーを低減することができ直列抵抗を低減することができる。また、この効果はGaのかわりにInを含んだp-Al_{0.90}In_{0.10}Nアクセプター不純物ドーピング開始層でもよく、ドーピングを開始する層に少なくともAlが含まれていれば良い。

【0039】

こうした構造上の工夫により、オーバーフロー抑制層に対して十分にp型ドーパントをドーピングできれば、この層内でキャリアを十分ブロックすることができる。これにより、クラッド層においてキャリアの閉じ込めを考慮する必要性はほとんどなく、AlGaN

クラッド層 104 の Al 組成比を低減することが可能となる。また、光の閉じ込めに関しては、クラッド層の Al 組成比を低減してもクラッド層の厚みを厚くすることでカバーできる。

【0040】

以上により、p 型ドーパント濃度を構造上の工夫により制御することで、キャリアの閉じ込めを向上させ、クラッド層の Al 組成比の低減化により低抵抗化が可能となる。これにより、デバイスの直列抵抗を低減でき、動作電圧を下げる事が可能となる。

【0041】

本実施の形態では GaN 基板上のレーザ構造について説明したが、本発明の結晶成長は、上記条件の原理を生かす結晶成長であれば基板は GaN に限るものではなく、AlGaIn、InGaIn 等の窒化物半導体バルク基板、サファイア基板や炭化珪素基板、シリコン基板、ガリウム砒素基板上に成長した GaN 等でも、もちろん選択横方向成長を用いて作製した ELOGaN 基板でも良い。

【0042】

また、本実施の形態ではレーザ素子について説明したが、これに限るものではなく、発光ダイオード素子にも適用できる。また、pn 接合を有し、電子のオーバーフロー防止と低抵抗化とを同時に必要とする全ての素子に適用できる。更に、上記効果は BaInGaIn 等の砒素 (As)、リン (P) を含有した混晶化合物半導体全般に成り立つ。

【0043】

(実施の形態 2)

図 7 は本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の断面構成を示している。図 7 を用いて、半導体レーザ素子の構成とその製造プロセスとを同時に説明する。結晶成長には、有機金属気相成長法 (MOVPE 法) を用い、その成長圧力は、減圧下でも、大気圧下でも、また大気圧 (1 atm) 以上の加圧下でも良い。さらには、半導体層ごとに最適な圧力に切りかえても良い。原料を基板上に供給するためのキャリアガスは少なくとも窒素又は水素等の不活性ガスとする。

【0044】

まず、n-GaN 基板 701 の表面を有機溶剤及び酸によって清浄化した後、成長炉内のサセプター上に基板 701 を設置する。N₂ ガスにて成長炉内を十分に置換した後、1℃/秒の昇温レートで 1000℃まで昇温し、キャリアガスを H₂ に切り替えると共にアンモニア (NH₃) の供給を開始して基板表面のクリーニングを行なう。このクリーニングの時間は 1 分以上行なうことが望ましい。その後、トリメチルガリウム (TMG) とモノシラン (SiH₄) の供給を開始し、2 μm 厚の n-GaN 層 702 の成長、引き続いてトリメチルアルミニウム (TMA) を加え、1.5 μm 厚の n-Al_{0.05}Ga_{0.95}N クラッド層 703 の成長を行う。TMA の供給を停止して n-GaN 光ガイド層 704 を 0.1 μm 成長した後、キャリアガスを N₂ に変え NH₃ の供給を停止し、成長温度を 780℃まで降温する。

【0045】

次に、NH₃、TMG 及びトリメチルインジウム (TMI) を供給することにより、光ガイド層 704 上に厚さが約 3 nm の In_{0.1}Ga_{0.9}N 井戸層と、井戸層の上に厚さが約 7 nm の In_{0.02}Ga_{0.98}N 障壁層とを 1 周期とする 3 周期分の半導体層を成長して多重量子井戸 (MQW) 活性層 705 を形成する。

【0046】

引き続いて 30 nm 厚の a アンドープ In_{0.02}Ga_{0.98}N 中間層 706、30 nm 厚のアンドープ GaN 中間層 707 を成長した後、TMG の供給を停止する。N₂ と NH₃ を供給した状態ですばやく 1000℃まで昇温し、キャリアガスを N₂ と H₂ の混合ガスに切り替える。TMG 及び TMA、TMI の供給を再開し、45 nm 厚の p-Al_{0.10}Ga_{0.85}In_{0.05}N 中間層 (ドーピングエンハンス層) 708 を成長する。この中間層の成長途中において、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム (Cp₂Mg) による Mg ドーピングを開始する。その後、10 nm 厚の p-Al_{0.16}Ga_{0.}

75In_{0.10}Nオーバーフロー抑制層709を成長し、すばやくキャリアガスをH₂に切り替え、p-Al_{0.03}Ga_{0.97}Nクラッド層710と、50nm厚のp-GaNコンタクト層711を順次積層する。以上のようにして、半導体レーザ素子を構成するエピタキシャル層を得ることができる。なお、これ以降の窒化物半導体レーザ素子の製作工程は実施の形態1と同様であるため省略する。

【0047】

なお、本実施形態においてはp型ドーパントとしてマグネシウム(Mg)を用いたが、代わりに炭素(C)、亜鉛(Zn)、ベリリウム(Be)、カドミウム(Cd)等を用いても良い。

【0048】

また、本実施形態においては、窒化物半導体の成長方法としてMOVPE法を用いたが、これに限定するものではなく、ハイドライド気相成長法(HVPE法)や分子線エピタキシー法(MBE法)など、化合物半導体結晶を成長させるためにこれまで提案されている全ての方法に適用できる。

【0049】

また、本実施の形態ではGaの原料としてTMGAlの原料としてTMAを、Inの原料としてTMIを、Mgの原料としてCp₂Mg、Nの原料としてNH₃を用いたが、上記条件の原理を生かす結晶成長であればこれらに限るものではなく、Gaの原料としてトリエチルガリウム(TEG)や塩化ガリウム(GaClやGaCl₃)を、Alの原料としてトリエチルアルミニウム(TEA)、ジメチルアルミハイドライド(DMAH)、ジメチルアルミクロライド(DMACl)を、Inの原料としてトリエチルインジウム(TEI)、Mgの原料としてビスエチルシクロペンタジエニルマグネシウム(EtCp₂Mg)、ビスメチルシクロペンタジエニルマグネシウム(MeCp₂Mg)を、Nの原料としてヒドラジン(N₂H₄)、モノメチルヒドラジン(MMH)、ジメチルヒドラジン(DMH)を用いても良い。

【0050】

また、本実施形態では各クラッド層及びコンタクト層等にバルク結晶を用いたが超格子構造を適用しても良い。

【0051】

次に、p-Al_{0.10}Ga_{0.85}In_{0.05}N中間層(ドーピングエンハンス層)708のAl組成(バンドギャップ)が、p-Al_{0.16}Ga_{0.75}In_{0.10}Nオーバーフロー抑制層709よりも小さく、p-Al_{0.03}Ga_{0.97}Nクラッド層710よりも大きい構造をとり、p-Al_{0.16}Ga_{0.75}In_{0.10}Nオーバーフロー抑制層709およびp-Al_{0.10}Ga_{0.85}In_{0.05}N中間層708にIn組成を含むことの有効性について説明する。

【0052】

本実施形態において用いた構造の特徴は、p-Al_{0.10}Ga_{0.85}In_{0.05}N中間層(ドーピングエンハンス層)708という比較的Al組成比が高い層をAlGaInN電子オーバーフロー抑制層の直前に挿入し、Mgのドーピングをp-Al_{0.10}Ga_{0.85}In_{0.05}N中間層の形成中から開始していることである。実施の形態1で説明した通り、Alが含まれる混晶半導体層にはp型不純物(例えばMg等)が取り込まれやすく、ドーピング遅れが発生しにくいという大きな特徴を持つ。また、p型不純物の取り込まれ易さにはAl組成依存性があり、Al組成比が0%から50%の間においては、Al組成比の増加に伴いp型不純物を取り込まれる量は増加する。

【0053】

本実施の形態では、実施の形態1と異なり活性層の近傍にInGa_{0.85}In_{0.05}Nとの格子定数差が大きいAlGaInNをそのまま配置するのではなく、格子定数差をおさえるためにInを含んだAlGaInNを用いた。こうした構造をとることにより、高いAl組成比によりドーピング遅れを抑えつつ、格子定数差を低減することで活性層を構成する井戸層の歪の不均一を出来る限り解消し、発光特性への影響を抑えられる。

【0054】

図8は、本実施の形態における活性層近傍の構成を示した図である。活性層側から、膜厚、Al組成比（バンドギャップ）およびIn組成比の異なる3領域以上の層から形成される。本実施形態では、p-AlGaInNドーピングエンハンス層803は第1の半導体層に対応し、p-AlGaInNオーバーフロー抑制層804は第2の半導体層に対応し、p-AlGaNクラッド層805は第3の半導体層に対応する。第1の半導体層のAl組成比（バンドギャップ）は、第2の半導体層よりも小さく、かつ、第3の半導体層よりも大きくなるように構成する。第1の半導体層におけるAl組成比は、そのバンドギャップが第2の半導体層よりも小さくなる範囲内で、できるだけ高いAl組成を用いることが望ましい。これに加えて、第2の半導体層と前記第1の半導体層にIn組成を含むことにより、近傍に存在する活性層との格子定数差を抑えることが可能となる。この第1の半導体層の存在により、従来の構成では発生していたp型不純物のドーピング遅れを解消することができ、第2の半導体層に対して十分な不純物濃度を確保することが可能となる。

【0055】

なお、望ましいAl組成比は、第1の半導体層が10～20%、第2の半導体層が10～30%、第3の半導体層が平均5～9%であり、最も望ましいAl組成比は、第1の半導体層が8～15%、第2の半導体層が15～20%、第3の半導体層が平均6.5～7.5%である。また、望ましいIn組成比は第1の半導体層が1～20%、第2の半導体層が1～30%である。このように、In組成比は少なくとも各層のAl組成よりも小さく設定することが望ましい。

【0056】

本実施の形態においては第1の半導体層におけるAl組成比と比べ、第2の半導体層におけるAl組成比を高く設定するため、In組成比に関しても第1の半導体層よりも第2の半導体層の方が大きくなるように設定する。これにより、各層の格子定数の差を小さくすることができ、活性層の歪をより低減できる。但し、第1の半導体層と活性層までの距離が比較的近い場合には、Al組成比の大きい第2の半導体層よりも第1の半導体層の格子定数が、活性層の歪に対してより大きく影響する場合もある。このような場合には、図9に挙げたようにIn組成を第1の半導体層（p-AlGaInNドーピングエンハンス層903）よりも第2の半導体層（p-AlGaInNオーバーフロー抑制層904）の方が小さくなるように設定する方が好ましい。

【0057】

また、第1の半導体層や第2の半導体層といった高Al組成比の層を厚くすると直列抵抗が増加するため、これらの層の膜厚は、第3の半導体層よりも小さくすることが必要である。よって、各層の望ましい膜厚は、第1の半導体層で1～50nm、第2の半導体層で5～20nmであり、さらに望ましい膜厚は、第1の半導体層で5～20nm、第2の半導体層で5～10nmである。

【0058】

なお、第1の半導体層のAl組成比およびIn組成比は、上記した望ましいAl組成比およびIn組成の範囲内であれば傾斜を持っていたとしても良い。また、この傾斜は連続的でも、階段的でも良い。また、各領域は上記した望ましいAl組成比およびIn組成比、そして膜厚の範囲内であれば、バルク層ではなく超格子層であってもよく、バルク層と超格子層が混在していてもよい。

【0059】

本実施の形態の構造をとることで、AlGaInN電子オーバーフロー抑制層804のp-AlGaInNドーピングエンハンス層との界面近傍においても、すでに $9 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高いMg濃度が実験的に確認できた。この値は実施の形態1で挙げたMgの濃度と比べて同等レベルであり、In組成比により格子定数差を低減させた場合においても高いAl組成比を用いる限り、同様のドーピング効果が得られることが分かった。ドーピングの開始位置に関しては、ドーピングエンハンス層803の最初又は途中から行う必要がある。なお、ドーピングエンハンス層の全部又は一部で不純物のドーピングを行

っていれば良く、層内で不純物濃度が均一である必要は無い。オーバーフロー抑制層 804 のドーピング濃度に関しては、最大 $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の p 型不純物が均一にドーピングされていることが望ましい。

【0060】

このように、AlGaInNドーピングエンハンス層 803 の挿入によりMgドーピング遅れの影響を抑制することが可能となり、レーザ構造の中で最もバンドギャップエネルギーが大きいAlGaInN電子オーバーフロー抑制層 804 中のMg濃度をクラッド層のMg濃度とほぼ等しくすることができた。ホール注入効率を改善することにより、しきい値電流を低減できる。特に、ドーピングエンハンス層 803 を超格子層とすることで、平均Al組成比が同一でもAl濃度の高い部分を形成でき、Mg取り込まれの急峻性を向上させることができる。また、オーバーフロー抑制層 804 を超格子層とすることでMgアクセプターの活性化エネルギーを低減することができ、直列抵抗を低減することができる。

【0061】

こうした構造上の工夫により、オーバーフロー抑制層 804 に対して十分にp型ドーパントをドーピングできれば、この層内でキャリアを十分ブロックすることができる。これにより、クラッド層においてキャリアの閉じ込めを考慮する必要性はほとんどなく、AlGaInNクラッド層 805 のAl組成比を低減することが可能となる。なお、クラッド層のAl組成比を低減しても、光の閉じ込めに関しては、クラッド層の厚みを厚くすることでカバーできる。以上のように、p型ドーパント濃度を構造上の工夫により制御することで、キャリアの閉じ込めを向上させ、クラッド層のAl組成比の低減化により低抵抗化が可能となる。これにより、デバイスの直列抵抗を低減でき、動作電圧を下げることが可能となる。

【0062】

なお、本実施の形態ではGaN基板上のレーザ構造について説明したが、本発明の結晶成長は、上記条件の原理を生かす結晶成長であれば基板はGaNに限るものではなく、AlGaN、InGaN、AlGaInN等の窒化物半導体バルク基板、サファイア基板や炭化珪素基板、シリコン基板、ガリウム砒素基板上に成長したGaN等でも、あるいは選択横方向成長を用いて作製したELOGaN基板でも良い。

【0063】

また、本実施の形態ではレーザ素子について説明したが、これに限るものではなく、発光ダイオード素子にも適用できる。また、pn接合を有し、電子のオーバーフロー防止と低抵抗化とを同時に必要とする全ての素子に適用できる。更に、上記効果はBAIAlGaInNや砒素(As)、リン(P)を含有した混晶化合物半導体全般に成り立つ。

【産業上の利用可能性】

【0064】

本発明にかかる低消費電力な窒化物半導体素子は、主に光ディスク関連分野の光源として有用である。また、レーザプリンタ、バーコードリーダ等の用途にも応用できる。

【図面の簡単な説明】

【0065】

【図1】本発明の実施の形態1における活性層近傍の構造図

【図2】本発明の第1の従来例における活性層近傍の構造図

【図3】本発明の第2の従来例におけるMg濃度深さ方向プロファイルを示す図

【図4】本発明の第3の従来例における活性層近傍の構造図

【図5】本発明の第4の従来例における活性層近傍の構造図

【図6】本発明の実施の形態1における全体の構造図

【図7】本発明の実施の形態2における全体の構造図

【図8】本発明の実施の形態2における活性層近傍の構造図

【図9】本発明の実施の形態2における活性層近傍の構造図

【符号の説明】

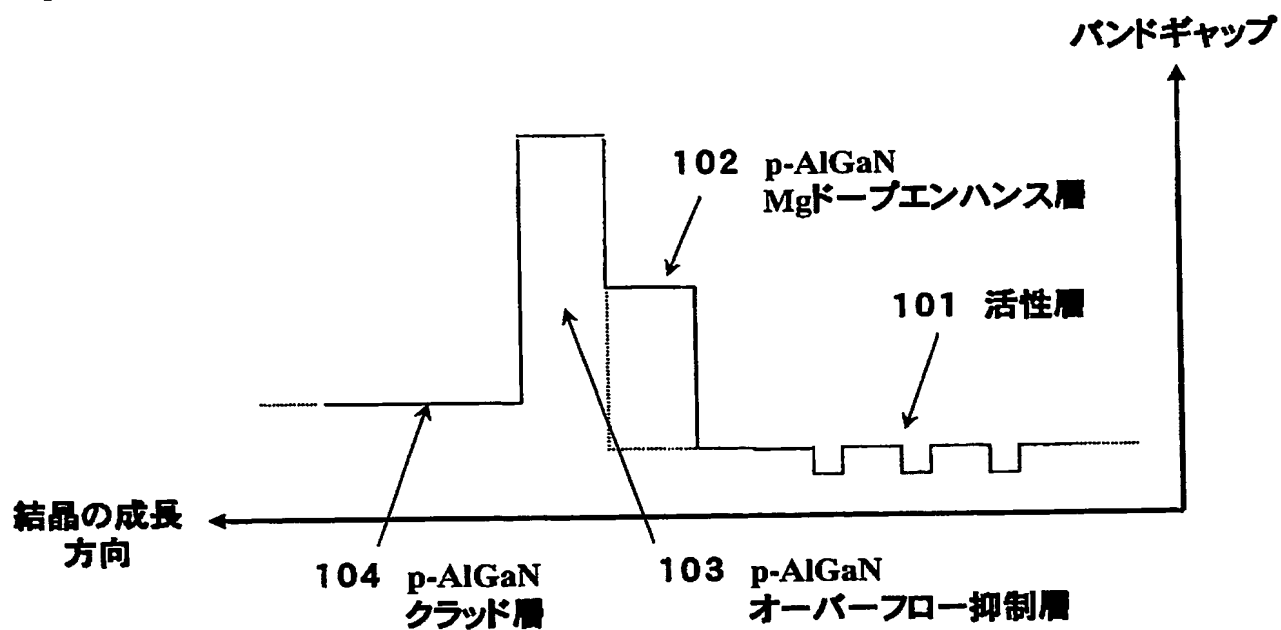
【0066】

- 101 活性層
- 102 p-AlGa_N Mgドーピングエンハンス層
- 103 p-AlGa_Nオーバーフロー抑制層
- 104 p-AlGa_Nクラッド層
- 201 活性層
- 202 un-AlGa_N層
- 203 p-AlGa_Nオーバーフロー抑制層
- 204 p-AlGa_N超格子クラッド層
- 301 Mgパイルアップ発生箇所
- 401 活性層
- 402 p-AlGa_Nオーバーフロー抑制層
- 403 un-Ga_Nガイド層
- 404 p-AlGa_N超格子クラッド層
- 501 活性層
- 502 p-AlGa_Nオーバーフロー抑制層
- 503 un-Ga_Nガイド層
- 504 p-AlGa_N超格子クラッド層
- 601 Ga_N基板
- 602 n-Ga_N層
- 603 n-AlGa_Nクラッド層
- 604 n-Ga_N光ガイド層
- 605 MQW活性層
- 606 InGa_N中間層
- 607 Ga_N中間層
- 608 p-AlGa_N中間層 (ドーピングエンハンス層)
- 609 p-AlGa_Nオーバーフロー抑制層
- 610 p-AlGa_Nクラッド層
- 611 p-Ga_Nコンタクト層
- 612 p電極
- 613 絶縁膜
- 614 N電極
- 701 Ga_N基板
- 702 n-Ga_N層
- 703 n-AlGa_Nクラッド層
- 704 n-Ga_N光ガイド層
- 705 MQW活性層
- 706 InGa_N中間層
- 707 Ga_N中間層
- 708 p-AlGaInN中間層 (ドーピングエンハンス層)
- 709 p-AlGaInNオーバーフロー抑制層
- 710 p-AlGa_Nクラッド層
- 711 p-Ga_Nコンタクト層
- 712 p電極
- 713 絶縁膜
- 714 n電極
- 801 活性層
- 802 中間層
- 803 p-AlGaInN Mgドーピングエンハンス層
- 804 p-AlGaInNオーバーフロー抑制層

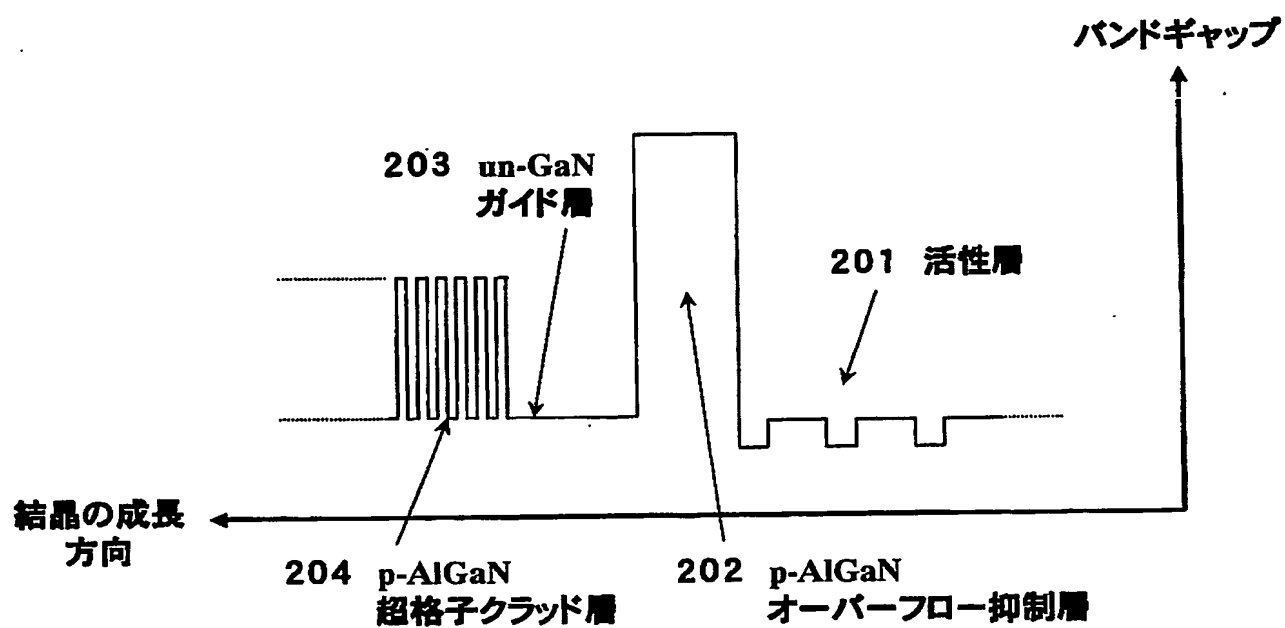
805 p-AlGaInクラッド層
 901 活性層
 902 中間層
 903 p-AlGaInN Mgドープエンハンス層
 904 p-AlGaInNオーバーフロー抑制層
 905 p-AlGaInクラッド層

【書類名】 図面

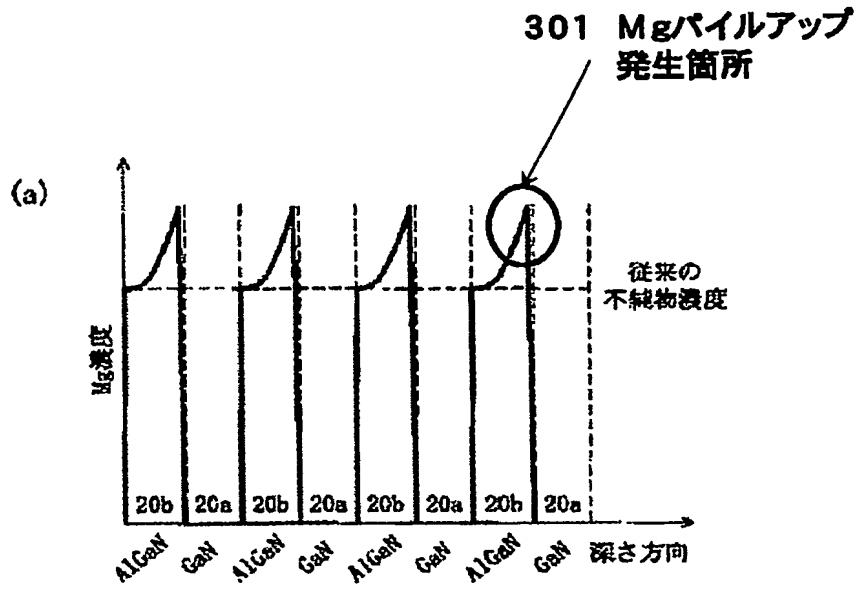
【図 1】



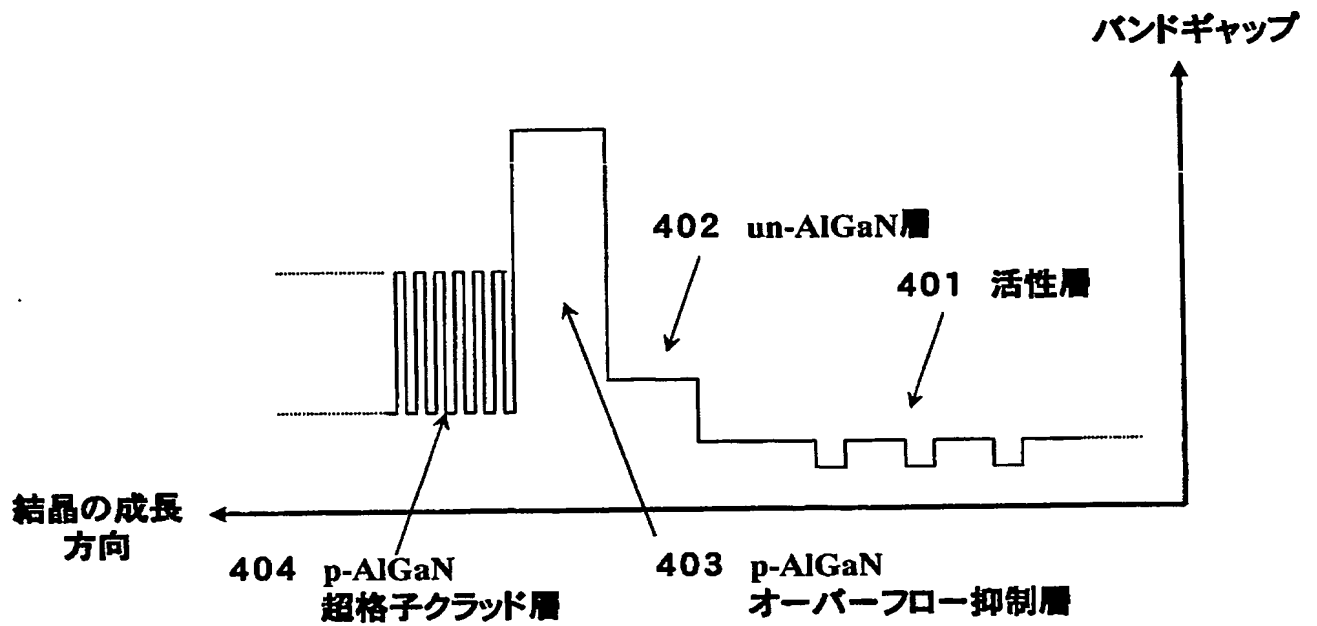
【図 2】



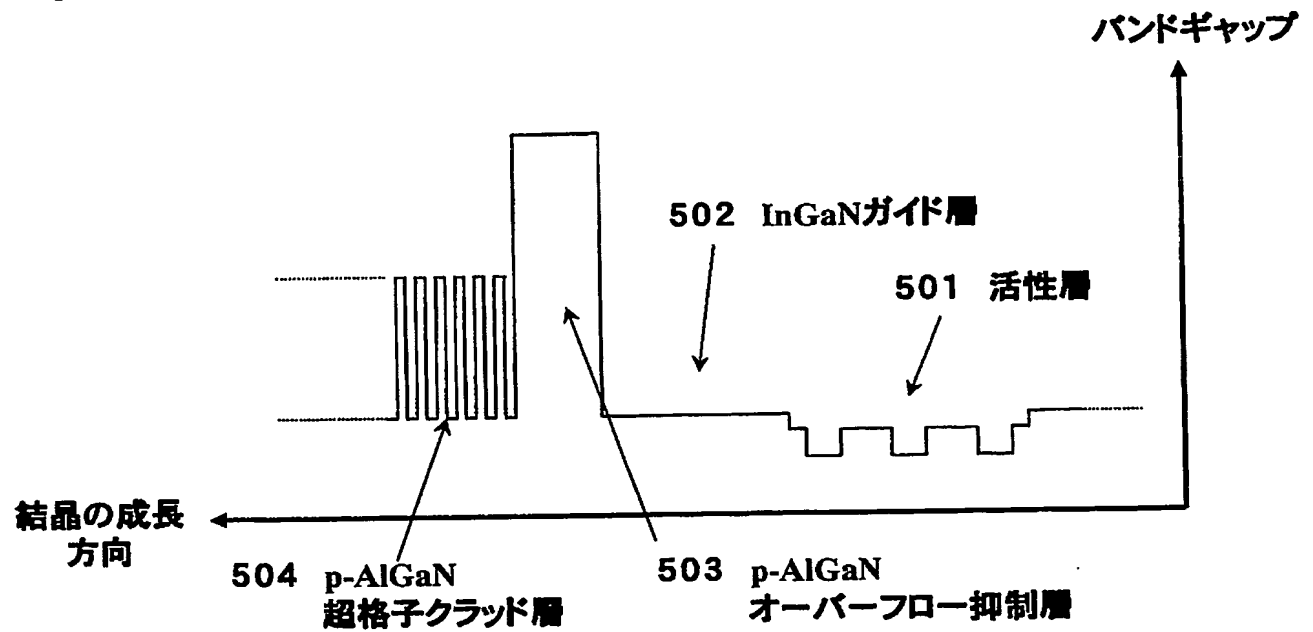
【図 3】



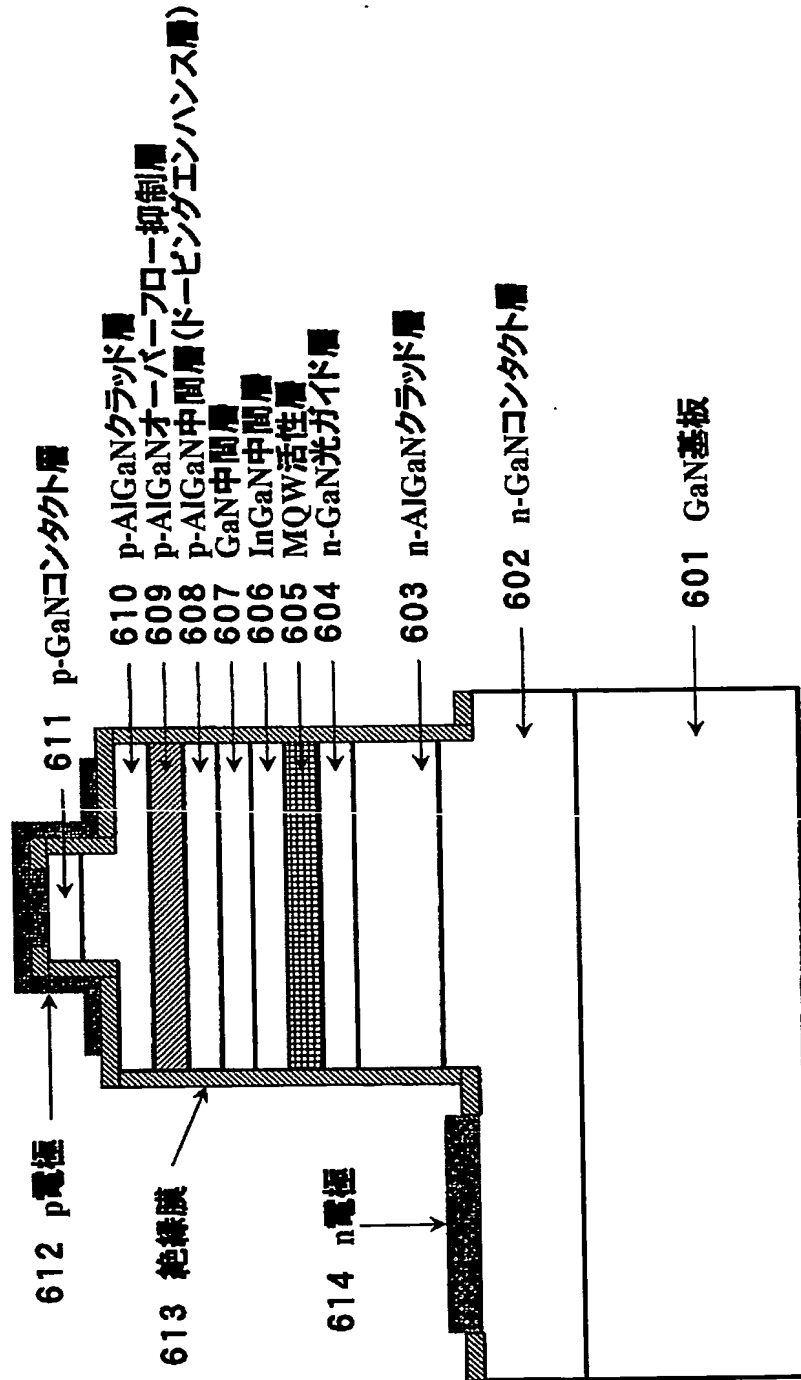
【図 4】



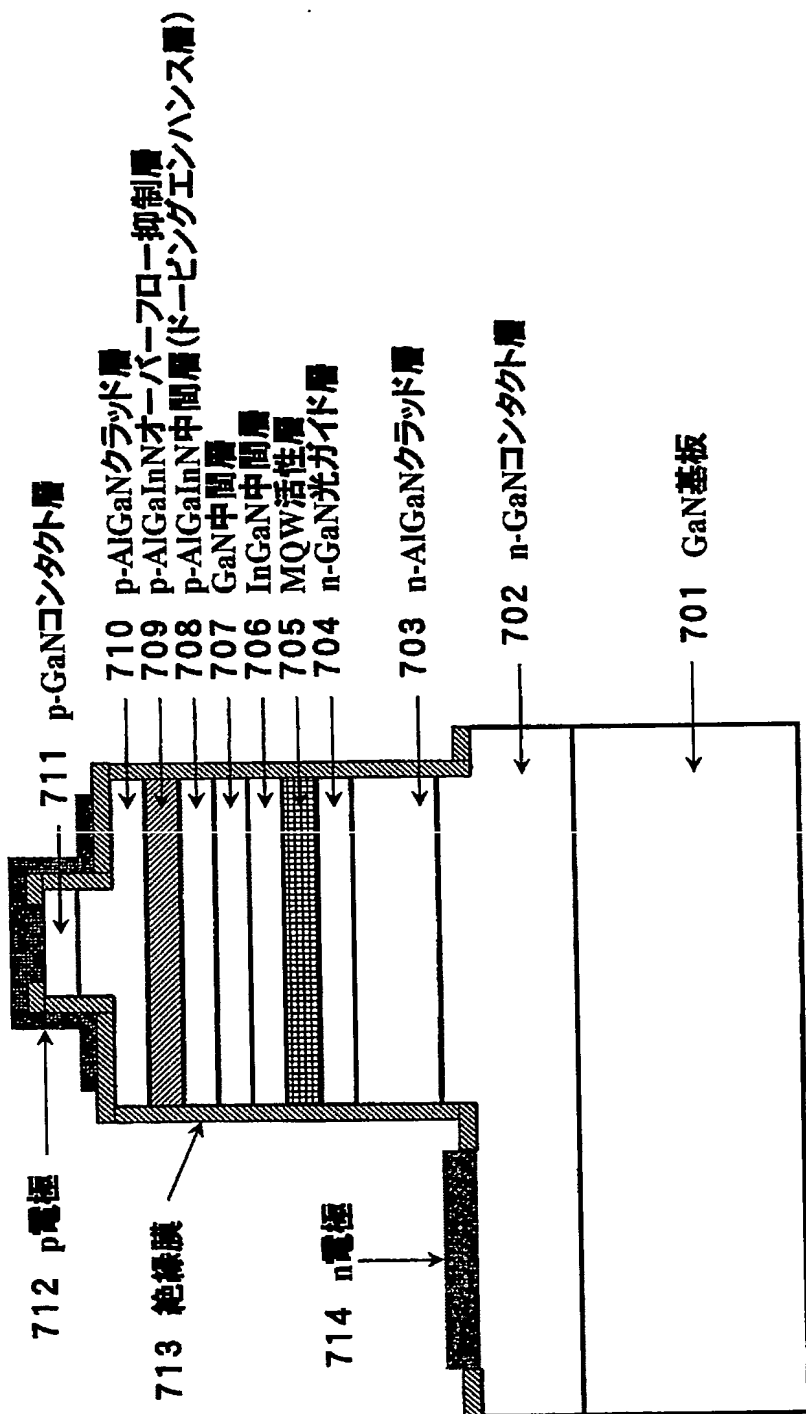
【図 5】



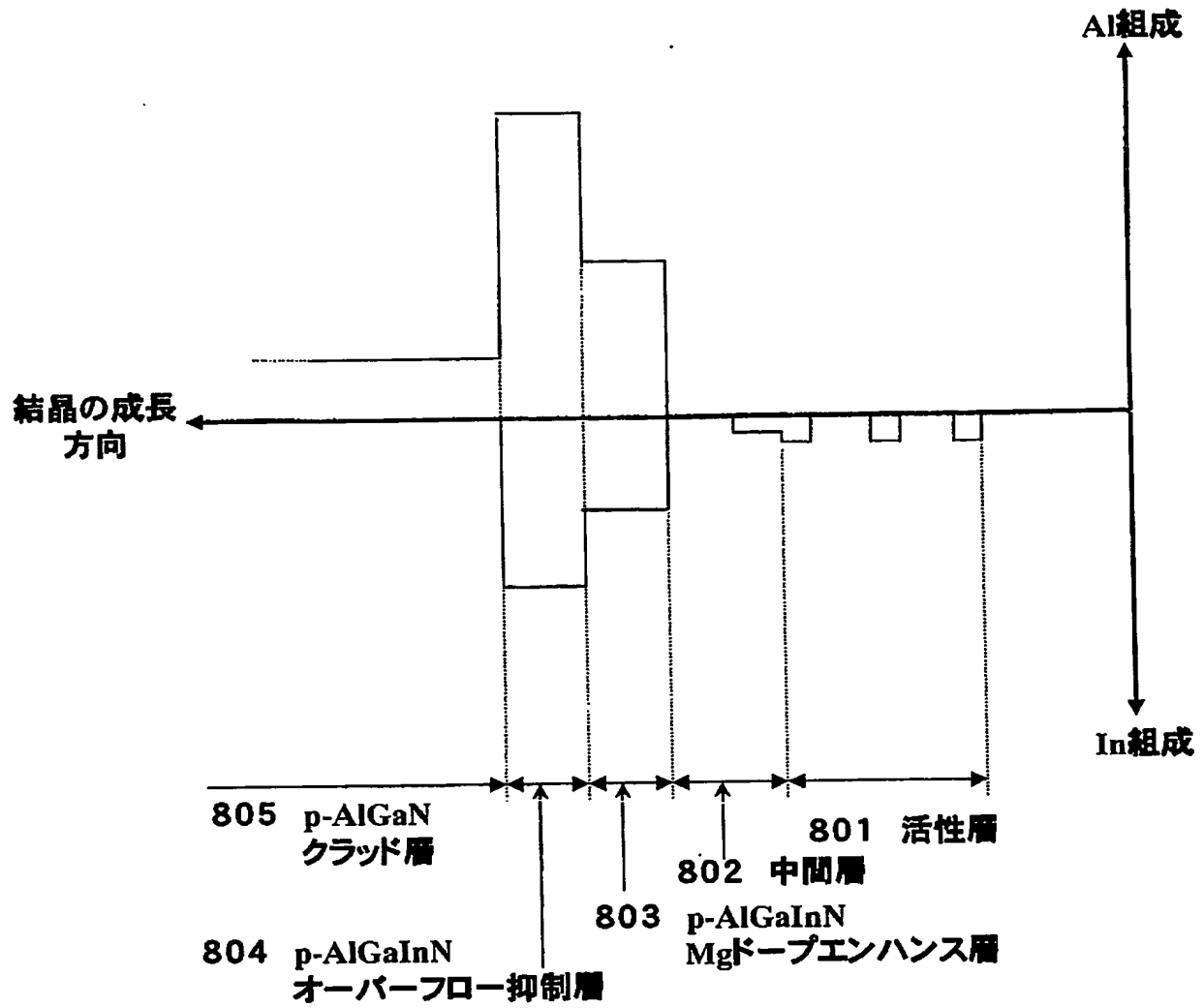
【図6】



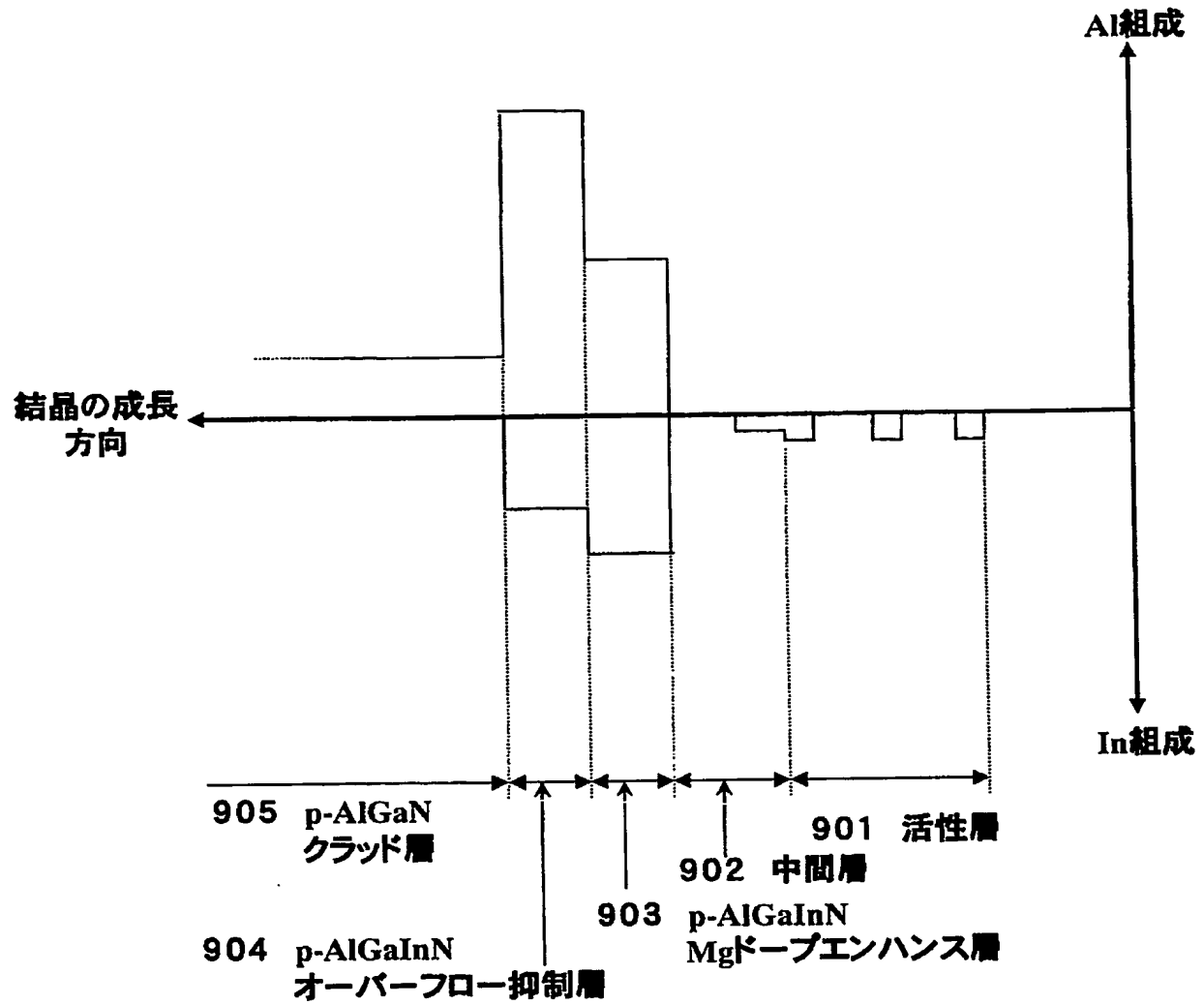
【図 7】



【図8】



【図 9】



【書類名】要約書**【要約】**

【課題】 オーバーフロー抑制層から漏れ出すキャリア及び光の閉じ込め効率を向上させるため、クラッド層の A1 組成を高くすると、直列抵抗が高くなり動作電圧上昇の原因となる。

【解決手段】 A1 を含有するドーピングエンハンス層をオーバーフロー抑制層の下に設け、ドーピングエンハンス層のバンドギャップを、オーバーフロー抑制層より小さく、クラッド層より大きく設定する。これにより、クラッド層における低 A1 組成化（低バンドギャップ化）を実現することができ、キャリアの閉じ込め効率を低下させることなくデバイスの直列抵抗 R_s の低抵抗化が可能となり、低消費電力のデバイスが実現できる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 4 - 0 6 5 1 6 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 8 2 1]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 8 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地

氏 名

松下電器産業株式会社